

В.Ю. ШУТОВ, НГУ, г. Днепропетровск

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕПАРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Запропоновано методику вибору параметрів конструкції пристроїв мокрої магнітної сепарації відповідно до реальних технологічних процесів.

The method of choice of parameters of construction of devices of wet magnetic separation is offered in accordance with the real technological processes.

В каждом сепарационном аппарате можно выделить участок конструкции, где собственно и происходит разделительный процесс и где возможно выделение элементарных разделительных операций. Например, в желобе разделительной зоной является вся его длина; в винтовом сепараторе это будет также вся его длина, но закрученная по определенному радиусу; в магнитном барабанном сепараторе прямоточного типа – это концентричная зона между дном ванны и поверхностью барабана; полупротивоточного типа – это зона поворота потока пульпы в зону удаления обедненного продукта; во флотационной машине – это камера; и т.д. В этой зоне разделение происходит на два продукта и поэтому в ней все частицы участвуют в двух движениях. Так и будем их называть:

- первое движение в сторону действия разделяющей силы;
- второе движение в сторону движения носителя частиц, подлежащих разделению.

Первое движение начинается с момента приложения разделяющей силы F_M , которая определяется силовой характеристикой поля : обычно это напряженность поля H и градиент этой напряженности $gradH$; которая носит название пондеромоторной силы; а также значением разделительного признака частицы – k . Обычно с удалением X по нормали от поверхности извлечения, генерирующей это поле, значения характеристик поля убывают:

$$F_M = K_1 k H gradH \exp(-k_0 X).$$

Противодействуют силе извлечения физические характеристики носителя частиц, которые совместно с иными характеристиками частиц – d , δ

(крупностью и плотностью); образуют силу противодействия - F_μ перемещению частицы со скоростью U :

$$F_m = K_2 \frac{U}{d}.$$

Условие движения частицы в сторону извлекающей силы имеет вид

$$F_M > F_\mu,$$

Из которого определяют скорость перемещения частицы в сторону извлекающей силы:

$$U_1 = \frac{K_1}{K_2} dkHgradH \exp(-kX).$$

Второе движение обычно осуществляется со скоростью носителя $U_2 = U_{\text{п.}}$

Уравнение траектории частицы определяется на основании условия, что пройдя некоторый путь ΔS_2 второго движения за время t , за это же время частица пройдет путь ΔS_1 в первом движении, т.е.

$$\frac{\Delta S_1}{U_1} = \frac{\Delta S_2}{U_2} \quad (1)$$

Результирующие расстояния в обоих направлениях S_2 и S_1 ограничены конструкцией устройства соотношением скоростей U_2 и U_1 частицы. Если частица

- раньше пройдет расстояние S_1 и тогда будет извлечена разделяющей силой в, например, обедненный продукт;
- или раньше пройдет расстояние S_2 и тогда будет унесена из зоны разделения носителем частиц в обогащенный продукт.

Таким образом, решением уравнения (1) следует брать вид:

$$\Delta S_1 = S_2 \frac{U_1}{U_2} \quad (2)$$

Это будет основным уравнением (математической моделью), определяющим закономерности разделения в зоне сепарации.

Далее приступают к определению условий извлечения каждой узкой фракции частиц. Это осуществляется по методике, которая изложена ниже.

1. Зону сепарации в направлении 1 разбивают на дискретные, равномерные промежутки ΔS_{1j} , количество которых N.

2. Весь диапазон изменения разделительного признака разбивают на узкие фракции Δk_i , количество которых M.

3. Задают минимальное расстояние ΔS_{11} и проверяют условия извлечения в ней частиц различного разделительного признака начиная с минимального Δk_{11} .

4. В зависимости от выполнения условий извлечения, в соответствии с функцией распределения частиц по разделительному признаку $\Delta F(k_j)$ производится распределение фракций по продуктам разделения.

Если частицы j-ой фракции не извлекаются из i-го слоя, то количество частиц, перешедших в обедненный продукт, j-ой фракции составит

$$\Delta p_{Hj} = \frac{\Delta S_1}{S_1} \sum_{j=i}^M \Delta F(k_{ij}), \quad (3)$$

а перешедших в обогащенный продукт:

$$\Delta p_{\dot{E}j} = \frac{\Delta S_1}{S_1} \sum_{j=1}^i \Delta F(k_{ij}). \quad (4)$$

На основании этих выражений оценивают сепарационную характеристику:

$$P(a_j) = \frac{\Delta p_{\dot{E}j}}{\Delta F(k_j)}. \quad (5)$$

Общее количество извлекаемого материала (выход продукта) составит

$$P_{\dot{E}} = \sum_{i=1}^K \Delta p_{\dot{E}j}. \quad (6)$$

Рассмотрим применение данной методики на примере разработки устройства очистки смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ).

Зона разделения такого устройства принципиально показана на рис. 1.

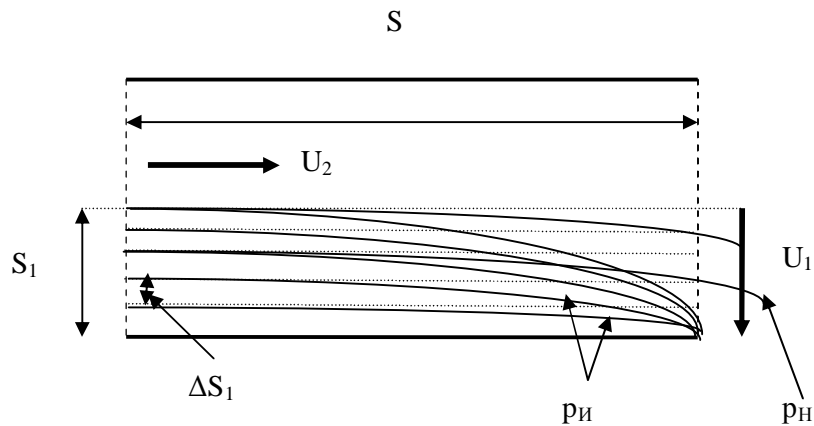


Рис. 1. Схема зоны разделения устройства очистки СОЖ от механических примесей

Расчеты проводились при таких исходных данных.

Функция распределения масляных агрегатов по магнитной восприимчивости задана таблицей.

Таблица

Функция распределения масляных агрегатов по магнитной восприимчивости

κ	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$F(\kappa)$	0,17	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17

Параметры зоны сепарации: $S_1 = 4$ см, $S_2 = 45$ см, $U_2 = 6$ см/с.

Параметры магнитного поля и агрегатов:

$H_0 = 60$ кА/м, $\text{grad}H = 1,5 \times 10^6$ А/м², $\kappa = 0,6$ ед СИ, $\delta = 2700$ кг/м³.

Коэффициент динамической вязкости СОЖ $\mu = 0,001$ Нс/м².

Расчеты показали, что наилучшие условия извлечения агрегатов находятся в середине зоны сепарации и сепарационная характеристика поэтому имеет вид, показанный графиком на рис. 2.

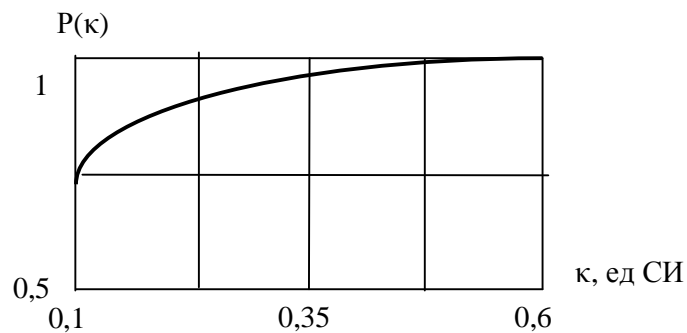


Рис. 2. Расчетная сепарационная характеристика устройства очистки смазочно-охлаждающей жидкости.

Следующим этапом конструирования сепараторов является придание сепарационной характеристике требуемого вида. И, в первую очередь, точку перегиба α_{Π} сместить в требуемое положение, которое задается средним значением содержания ценного минерала $\alpha_{и}$ в питающем продукте: $\alpha_{\Pi} = \alpha_{и}$.

Для выбора разделительного аппарата исходной информацией являются:

- требуемая производительность по полезному ископаемому;
- параметры подготовки полезного ископаемого (сырья);
- сформулированы требования к показателям продуктов разделения.

Требования к показателям продуктов разделения формулируются в виде заданных значений интегральных показателей:

- выхода обогащенного продукта – γ_3 ;
- содержания ценного минерала в обогащенном продукте – $\beta_{кз}$;
- допустимых потерь ценного минерала в обедненном продукте – $\nu_{доп}$.

Параметры подготовки сырья удобно формулировать в виде функции распределения частиц ценного и неценного компонентов – $F(\alpha)$.

Как известно, для осуществления выбора параметров выбирается критерий.

Одно из главных свойств критерия – достаточно высокая чувствительность, особенно в области оптимального значения.

Обычно, признаком достижения оптимального решения является изменение знака производной целевой функции.

И если чувствительность критерия достаточно высокая, то погрешность решения будет приемлемой.

Для этой цели может быть принят определенный вид сепарационной характеристики. В соответствии с такой характеристикой процесс разделения идет так, как требуется.

Таким образом, принимаем в качестве критерия поиска оптимальной конструкции сепаратора функцию, которая зависит от сепарационных характеристик сепаратора: требуемого вида $P_{тр}$ и некоторого текущего вида $P_{тек}$.

Для этого подбирают форму кривой $P(\alpha)$, например вручную, на основании собственного профессионализма, достигают заданных показателей разделения и в результате определяют требуемый вид сепарационной характеристики $P_{тр}(\alpha)$.

Критерий формируют следующим образом.

Допустим, что требуемый вид сепарационной характеристики имеет вид, показанный на рис. 1, кривая $P_{тр}$.

Осуществив выбор конструктивных параметров сепаратора, по математической модели сепарационного процесса производят расчет сепарационной характеристики.

Допустим это кривая P_{TEK1} на рис. 3.

По оси абсцисс отложено содержание ценного минерала, максимальное значение которого единичное. Оценкой достижения совершенства сепарационного процесса может служить площадь S_{OCT} , заключенная между кривыми P_{TP} и P_{TEK} . Когда эта площадь равна нулю, то процесс разделения осуществляется оптимально.

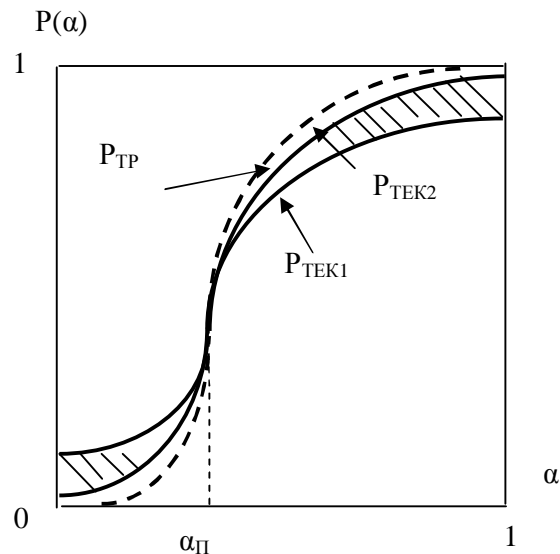


Рис. 3. Схема определения критерия совершенства технологической операции

Обычно принято, что максимальное и, как правило, единичное значение критерия соответствует наилучшему набору параметров, поэтому технологическим критерием выбора совершенной конструкции сепаратора служит выражение:

$$K_{COB} = 1 - S_{OCT} = 1 - \left(\int_0^{a_{\Pi}} P_{TEK1}(a) da - \int_0^{a_{\Pi}} P_{TP}(a) da + \int_{a_{\Pi}}^1 P_{TP}(a) da - \int_{a_{\Pi}}^1 P_{TEK1}(a) da \right) > 0.$$

Если же сепарационная характеристика примет вид P_{TEK2} , то критерий будет иметь вид:

$$\hat{E}_{\hat{M}\hat{A}} = 1 - S_{\hat{I}\hat{O}\hat{O}} = 1 - \left(\int_0^{a_I} D_{\hat{O}\hat{A}\hat{E}2}(a) da - \int_0^{a_I} D_{\hat{O}B}(a) da + \int_{a_I}^1 D_{\hat{O}B}(a) da - \right. \\ \left. - \int_{a_I}^1 D_{\hat{O}\hat{A}\hat{E}2}(a) da \right) < 0.$$

Так как критерий изменяет знак, то требуемый вид сепарационной характеристики является оптимальным.

Таким образом, дальнейший выбор конструкции сепаратора заключается в том, что изменяют параметры зоны разделения и определяют сепарационную характеристику. Изменение параметров ведут в том направлении, которое уменьшает значение технологического критерия.

Конструктивные параметры имеют определенные ограничения, превышение которых приводит к неработоспособности конструкции. Поэтому в процессе поиска можно исчерпать все возможности изменения параметров и не получить требуемого вида сепарационной характеристики. В этом случае следует принять конструкцию сепаратора, который имеет наиболее близкую к требуемой характеристике сепарационную характеристику и приступить к формированию сепарационной характеристики с помощью технологии соединения сепараторов.

Существует два способа создания гибких сепарационных характеристик соединения сепараторов с жесткими сепарационными характеристиками.

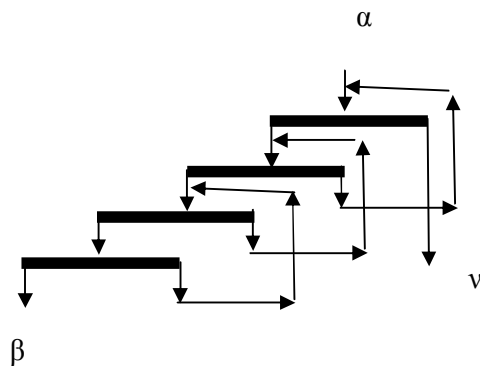


Рис. 4. Схема технологии разделения с рециклами

Первый способ заключается в создании каскада технологических рециклов (рис. 4).

Второй способ без рециклов. Он проще реализуется, но требует большого количества сепараторов. Это технология с перечистками всех продуктов сепарации (рис. 5). Схема получается несимметричной, что соответствует смещению сепарационной характеристики. На рис. 5 смещение производится в сторону увеличения

качества концентрата. Если несимметрия направлена вправо, то это соответствует снижению потерь ценного минерала в хвостах.

Обе схемы существенно смещают сепарационную характеристику сепаратора в зависимости от того, какой продукт подвергается перечистке. Прин-

цпы получения сепарационных характеристик соединений изложены в работах [2, 3]

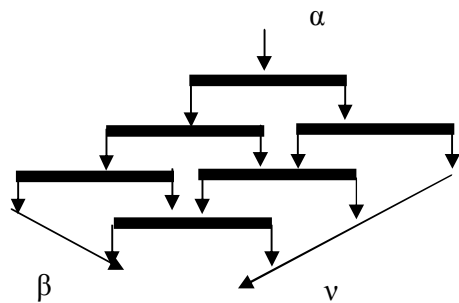


Рис. 5. Схема технологии разделения с перечистными операциями

Такой выбор предполагает определенные действия, которые сформулированы нами в такой последовательности на примере создания устройства магнитной очистки смазочно-охлаждающих жидкостей (УОСОЖ) от механических примесей.

1. Идентификация функции распределения фракций магнитной восприимчивости масляных флоккул, которые формируются в потоке СОЖ.

2. Формулировка требований к показателям качества СОЖ.

3. Подбор подходящей сепарационной характеристики (СХ) разделительного устройства в соответствии с требованиями согласования параметров сырья и аппарата.

4. В соответствии с подходящей СХ осуществляется подбор параметров разделительного аппарата и режимных параметров его работы.

5. Если подобрать параметры не удастся, тогда принимается такая СХ, которая наиболее близка к требуемой. Далее принимаются параметры разделительного аппарата, соответствующие такой характеристике и приступают к поиску СХ технологии соединения таких аппаратов с целью получения заданных показателей разделения.

6. Если и в этом случае не удастся добиться требуемых показателей разделения, то принимается стадийное разделение в технологических блоках с выделением трех продуктов: обогащенного, обедненного и промежуточного.

В этом случае, обычно, технологический результат получается успешным.

В соответствии с разработанной методикой было изготовлено устройство очистки смазочно-охлаждающих жидкостей для цеха холодной прокатки листового железа в цехе № 1 ОАО «Запорожсталь» на стане 1680 в 1999г. Результаты эксплуатации устройства показали его надежность, а показатели очистки были близки к расчетным. Таким образом, по нашему мнению, методика выбора параметров конструкции устройств мокрой магнитной сепарации дает расчетные параметры адекватные реальному технологическому процессу.

Список литературы: 1. Тихонов О.Н. Введение в динамику массопереноса процессов обогащательной технологии / О.Н. Тихонов. – Л.: Недра, 1980. 2. Пилов П.И. Научные основы сепарации и водопотребления при обогащении руд : дис. ... докт. техн. наук / П.И. Пилов. – Днепропетровск, 1993. 3. Младецкий І.К., Пілов П.І. Технологічні розрахунки показників збагачення корисних копалин: навч. посібник / І.К. Младецкий, П.І. Пілов. – Дніпропетровськ: НГУ, 2005 – 156 с.

Поступила в редколлегию 13.06.09

УДК 622.7

А.Ю. КРИВЕНКО, аспирант, КТУ, г. Кривой Рог

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ПУЛЬПЫ ПРИ НАПРАВЛЕННОМ ДВИЖЕНИИ В ДЕШЛАМАТОРЕ

У статті дані результати математичного моделювання для прогнозування переміщення дрібнодисперсних часток під дією сил гравітації в гідравлічних апаратах, що класифікують. Визначено основні розрахункові залежності для отримання якісних і кількісних показників збагачувального процесу при поділі залізорудної пульпи, тверда фаза якої представлена частками з різною щільністю у вузькому діапазоні параметрів гранулометричного складу.

In article results of mathematical modelling for moving forecasting small disperse particles under the influence of forces of gravitation in hydraulic classifying devices are yielded. The basic settlement dependences for reception qualitative and quantity indicators of concentrating process are defined at division of iron ore pulp which firm phase is presented by particles with different density in a narrow range of parameters of granul structure.

Постановка проблемы в общем виде. В технологическом цикле получения концентрата из железорудного сырья важное место занимает процесс разделения измельченной руды на пустую породу и железосодержащую массу. Этот процесс реализуется с помощью различных конструкций аппаратов действие которых основано на разделении компонентов пульпы за счет придания частицам центробежного ускорения или за счет перемещения их по вертикальной составляющей под воздействием сил гравитации. Применение седиментационных аппаратов – дешламаторов, по сравнению с центробежными – гидроциклонами, позволяет обеспечить более тонкое разделение продукта на составляющие компоненты при минимальном объеме энергоза-